



4 / Priority
Doc.
E. Willis
1-17-02

PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of

Hiroyuki INAGAKI, et al.

Attorney Docket Q66363

Appln. No.: 09/961,283

Group Art Unit: 2837

Confirmation No.: 5322

Examiner: Not yet assigned

Filed: September 25, 2001

For: VIBRATION REDUCTION CONTROL APPARATUS FOR AN ELECTRIC MOTOR
AND DESIGN METHOD OF A VIBRATION REDUCTION CONTROL FOR THE
ELECTRIC MOTOR

SUBMISSION OF TWO PRIORITY DOCUMENTS

Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

Submitted herewith are certified copies of the priority documents on which claims to priority was made under 35 U.S.C. § 119. The Examiner is respectfully requested to acknowledge receipt of said priority documents.

Respectfully submitted,

Robert V. Sloan
Registration No. 22,775

SUGHRUE MION, PLLC
2100 Pennsylvania Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20037-3213
Telephone: (202) 293-7060
Facsimile: (202) 293-7860

Enclosures: Certified Copy of Japanese Patent Application Nos. 2000-290703 and 2001-183311

Date: December 31, 2001

W-2314(米)

Q66363

09/96/283

182



日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office

出願年月日

Date of Application:

2000年 9月25日

出願番号

Application Number:

特願2000-290703

出願人

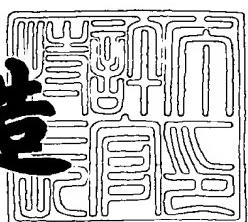
Applicant(s):

アイシン精機株式会社

2001年10月19日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3091211

【書類名】 特許願

【整理番号】 PY20001830

【提出日】 平成12年 9月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H02P 7/05

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 アイシン精機 株式会社 内

【氏名】 稲垣 浩之

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 アイシン精機 株式会社 内

【氏名】 葛谷 秀樹

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 アイシン精機 株式会社 内

【氏名】 加藤 浩明

【特許出願人】

【識別番号】 000000011

【氏名又は名称】 アイシン精機 株式会社

【代理人】

【識別番号】 100068755

【住所又は居所】 岐阜市大宮町2丁目12番地の1

【弁理士】

【氏名又は名称】 恩田 博宣

【電話番号】 058-265-1810

【選任した代理人】

【識別番号】 100105957

【住所又は居所】 東京都渋谷区代々木二丁目10番4号 新宿辻ビル8

階

【弁理士】

【氏名又は名称】 恩田 誠

【電話番号】 03-5365-3057

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 002956

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9909940

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電動モータの振動抑制制御装置及び電動モータの振動抑制制御における設計手法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 電動モータより検出したモータ回転数信号をフィルタ手段に通して、前記電動モータの振動抑制対象となる所定周波数帯域の振動信号値のみを取り出し、その所定周波数帯域の振動信号値に対し振動抑制効果のある所定の補正処理を施すフィードバック制御を行うことを特徴とする電動モータの振動抑制制御装置。

【請求項2】 電動モータと、

前記電動モータのモータ回転数を検出する検出手段と、

前記電動モータにトルク制御の指令をする制御手段と、

前記検出手段により検出されたモータ回転数信号を基に外乱振動の周波数帯域を含む所定周波数帯域の振動信号値のみを取り出すフィルタ手段と、

前記フィルタ手段により取り出された所定周波数帯域の振動信号値に対し振動を小さく抑える所定の補正処理を施して補正量を得る補正手段とを備え、

前記制御手段は、前記補正手段から得られた補正量を前記電動モータの指令値に対し加算又は減算することを特徴とする電動モータの振動抑制制御装置。

【請求項3】 前記所定周波数帯域は、前記電動モータまたは該電動モータが組付けられた被組付体の共振周波数帯域を少なくとも含むことを特徴とする請求項1又は2に記載の電動モータの振動抑制制御装置。

【請求項4】 前記電動モータは車両の走行用駆動源として車体に設けられていることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の電動モータの振動抑制制御装置。

【請求項5】 前記所定周波数帯域は、前記電動モータが組付けられた被組付体である車体の共振周波数帯域を少なくとも含むことを特徴とする請求項4に記載の電動モータの振動抑制制御装置。

【請求項6】 前記補正手段による補正処理は、PD制御演算であることを特徴とする請求項2～5のいずれか一項に記載の電動モータの振動抑制制御装置

【請求項 7】 同定実験を行う同定実験手順と、

周波数フィッティングによるモデルパラメータ同定を行うモデルパラメータ同定手順と、

規範モデルの導出を行う規範モデル導出手順と、

モデルマッチング法による補正制御の係数を算出する補正係数算出手順と、

性能評価を満足するか否かを判断する判断手順とを備え、

前記判断手順により性能評価を満足しない場合は、規範モデル導出手順での規範モデルの導出をし直してこれを基に補正係数算出手順で補正制御の係数を算出し直す作業を、性能評価を満足するまで繰り返すことを特徴とする電動モータの振動抑制制御における設計手法。

【請求項 8】 前記判断手順により性能評価を満足すれば、離散化を行う離散化手順を備えていることを特徴とする請求項 7 に記載の電動モータの振動抑制制御における設計手法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電動モータの振動抑制制御装置及び電動モータの振動抑制制御における設計手法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、電気自動車の走行用モータとしてSRモータが知られている。SRモータを制御する場合、アクセルペダルの操作信号に基づくアクセル開度が大きいほど目標トルク（励磁電流）が大きくなるように制御される。

【0003】

従来、図8に示すように、SRモータ71の制御では、モータ71への目標トルクが与えられたとき、予め用意されたマップMPを参照して目標トルクを電流指示値Iと角度指示値θに変換し（詳細はI, θ値への変換にはバッテリ電圧とモータ回転数も考慮される）、このI, θの指示値をドライバ回路72へ出力し

、モータ71のトルク制御を行うようになっていた。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、このようにオープンループで制御系を構成していると、SRモータ71を搭載した車両がシャフトやタイヤのねじれ及びサスペンションのバネなどの影響で共振特性を有している場合、モータのトルク変化がきっかけとなってモータ又は車体が共振する。すなわち図9に示すように、アクセルペダルを踏み込んだり離したりし、同図(b)のグラフにおいて目標トルクが急変化する時には、同図(a)に示すようにそのトルク変動がきっかけとなってモータ又は車体が共振する。系自体は振動が減衰していく安定な特性であるが、トルク変動時に共振周波数域の振動のステップ入力が1つあるとこれがきっかけとなって、その振動のショックが何回か継続する共振現象が起こるためである。モータ自身の共振、あるいは車体の共振に起因するモータの振動は、モータの回転軸に対し正逆の小刻みな負荷となって加わるため、モータの回転むらを招く。この回転むらは、車体の前後の振動（小刻みな揺れ）となって現れ、乗員に不快感を与えるという問題があった。

【0005】

また、このような問題をマイコン制御で解決するとき、高次のコントローラを設計して解決しようとすると、プログラムの複雑化によって、マイコンのプログラム領域（記憶容量）及び演算時間の制約上、マイコンに実装できない問題があった。一方、低次のコントローラを設計した場合は、車種ごとに定数（係数）の設定等のチューニングをし直さなければならず、チューニング工数の多さから異なる車種への展開に膨大な時間がかかるという問題があった。

【0006】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであって、その目的は、電動モータの振動を簡単な制御方法で抑制でき、しかも異なる車種間にも比較的簡単に展開可能なモータの振動抑制制御を実現できる電動モータの振動抑制制御装置及び電動モータの振動抑制制御における設計手法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記問題点を解決するために、請求項1に記載の発明は、電動モータより検出したモータ回転数信号をフィルタ手段に通して、前記電動モータの振動抑制対象となる所定周波数帯域の振動信号値のみを取り出し、その所定周波数帯域の振動信号値に対し振動抑制効果のある所定の補正処理を施すフィードバック制御を行うことを要旨とする。なお、フィルタ手段は、ハードウェアとソフトウェアのいずれで構成されてもよい。また、モータ回転数信号から所定周波数帯域の信号値を取り出すフィルタ手段は、モータ回転数信号（信号電圧等）そのものをフィルタ回路に通すものだけでなく、モータ回転数信号の信号値から得たデータに所定のフィルタ演算を施して所定周波数帯域の信号データを得るものまでも含む概念である。以下の請求項（手段）において同様である。

【0008】

この発明によれば、電動モータより検出したモータ回転数信号がフィルタ手段に通されることで、電動モータの振動抑制対象となる所定周波数帯域の振動信号値のみが取り出される。そして、その取り出された所定周波数帯域の振動信号値に対し所定の補正処理を施すフィードバック制御が行われる。このフィードバック制御の結果、電動モータの振動など振動抑制対象となる振動は小さく抑制される。

【0009】

請求項2に記載の発明は、電動モータと、前記電動モータのモータ回転数を検出する検出手段と、前記電動モータにトルク制御の指令をする制御手段と、前記検出手段により検出されたモータ回転数信号を基に外乱振動の周波数帯域を含む所定周波数帯域の振動信号値のみを取り出すフィルタ手段と、前記フィルタ手段により取り出された所定周波数帯域の振動信号値に対し振動を小さく抑える所定の補正処理を施して補正量を得る補正手段とを備え、前記制御手段は、前記補正手段から得られた補正量を前記電動モータの指令値に対し加算又は減算することを要旨とする。

【0010】

この発明によれば、検出手段により検出されたモータ回転数信号を基に外乱振

動の周波数帯域を含む所定周波数帯域の振動信号値のみがフィルタ手段によって取り出される。そして、その取り出された所定周波数帯域の振動信号値に対し所定の補正処理が補正手段により施されることにより、振動を小さく抑える補正量が得られる。この補正量は電動モータの指令値に対し加算又は減算される。この結果、電動モータの振動などの外乱振動が小さく抑制される。

【0011】

請求項3に記載の発明は、請求項1又は2に記載の発明において、前記所定周波数帯域は、前記電動モータまたは該電動モータが組付けられた被組付体の共振周波数帯域を少なくとも含むことを要旨とする。

【0012】

この発明によれば、電動モータまたは電動モータが組付けられた被組付体の共振周波数帯域の振動、すなわち共振振動自体や共振振動に起因する電動モータの振動が小さく抑えられる。

【0013】

請求項4に記載の発明は、請求項1～3のいずれか一項に記載の発明において、前記電動モータは車両の走行用駆動源として車体に設けられていることを要旨とする。

【0014】

この発明によれば、車体から伝わった電動モータの振動あるいは電動モータ自体の共振振動が小さく抑えられ、この種の振動に起因する電動モータの回転速度の周期的な変動が小さく抑えられる。従って、電動モータを走行用駆動源とする車両の走行時における前後の振動が起き難くなる。

【0015】

請求項5に記載の発明は、請求項4に記載の発明において、前記所定周波数帯域は、前記電動モータが組付けられた被組付体である車体の共振周波数帯域を少なくとも含むことを要旨とする。

【0016】

この発明によれば、電動モータが組付けられた車体（被組付体）が、何らかの振動入力に起因して共振し、この結果、電動モータが振動しても、この共振周波

数帯域の振動が小さく抑えられることにより、車両の前後の振動が起き難くなる。

【0017】

請求項6に記載の発明は、請求項2～5のいずれか一項に記載の発明において、前記補正手段による補正処理は、PD制御演算であることを要旨とする。

この発明によれば、補正処理がPD制御演算であることから、電動モータの振動が効果的に小さく抑えられる。

【0018】

請求項7に記載の発明は、同定実験を行う同定実験手順と、周波数フィッティングによるモデルパラメータ同定を行うモデルパラメータ同定手順と、規範モデルの導出を行う規範モデル導出手順と、モデルマッチング法による補正制御の係数を算出する補正係数算出手順と、性能評価を満足するか否かを判断する判断手順とを備え、前記判断手順により性能評価を満足しない場合は、規範モデル導出手順での規範モデルの導出をし直してこれを基に補正係数算出手順で補正制御の係数を算出し直す作業を、性能評価を満足するまで繰り返すことを要旨とする。

【0019】

この発明によれば、同定実験手順で同定実験を行い、モデルパラメータ同定手順で周波数フィッティングによるモデルパラメータ同定を行う。規範モデル導出手順で規範モデルの導出を行い、補正係数算出手順でモデルマッチング法による補正制御の係数を算出する。そして、判断手順で性能評価を満足するか否かを判断し、性能評価を満足しない場合は、規範モデル導出手順での規範モデルの導出をし直してこれを基に補正係数算出手順で補正制御の係数を算出し直す作業を、性能評価を満足するまで繰り返す。この設計方法によれば、補正制御のための適正な係数を求めることができる。従って、高次のコントローラを使用せず、しかも例えば車種毎に係数の調整が容易になる。

【0020】

請求項8に記載の発明は、請求項7に記載の発明において、前記判断手順により性能評価を満足すれば、離散化を行う離散化手順を備えていることを要旨とする。

【0021】

この発明によれば、判断手順により性能評価を満足し、係数が決まれば、次に離散化手順でデジタル処理に適した離散化が行われる。このため、補正制御の係数をデジタル制御に適した形でコントローラに設定できる。

【0022】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を具体化した一実施形態を図1～図7に従って説明する。図1は、電気自動車の走行駆動系の構成ブロック図を示す。

【0023】

電気車両としての電気自動車1は駆動輪2に走行トルクを出力する走行駆動源としての電動モータとしてSRモータ（スイッチド・リラクタンスモータ）3を備えている。SRモータ3は電気自動車1の部品ルーム内の所定箇所に被組付体としての車体1a（同図では象徴的に鎖線で示すのみで大きさは正確でない）に組付けられた状態で搭載されている。バッテリ4には例えば燃料電池や充電式蓄電池などが使用される。SRモータ3はECU（電子制御装置）5によりインバータ6を介して駆動制御される。ECU5はマイクロコンピュータ（以下、単にマイコンと称す）7と、チョッパ回路8を備える。なお、マイコン7により、フィルタ手段、補正手段、制御手段が構成される。

【0024】

インバータ6はバッテリ電圧が印加されるようにバッテリ4と接続され、その出力側はSRモータ3に電気的に接続されている。インバータ6は駆動回路9とスイッチング回路10とを備える。マイコン7からの指令信号に基づいてチョッパ回路8がチョッパ制御されて、チョッパ回路8から駆動回路9を介してスイッチング回路10に入力される信号に基づきSRモータ3は駆動制御される。

【0025】

SRモータ3は3相モータで、3相コイルの励磁タイミングを制御することによって駆動制御される。インバータ6はSRモータ3に対し内部の3相コイルに励磁電流を給電するそれぞれ2本ずつの計6本の電力線で接続されている。電流比較回路11は電力線を流れる電流値を検出する。チョッパ回路8は電流比較回

路11から入力する電流検出信号を基に駆動回路9に送る指令値を補正する。

【0026】

マイコン7は、アクセルペダル12の操作量を検出するアクセルセンサ13から入力するアクセル信号（アクセル開度 α ）と、バッテリ電圧検出回路14からのバッテリ電圧検出信号（バッテリ電圧Vb）とをインターフェイス15を介して入力する。またマイコン7は、SRモータ3の回転を検出する検出手段としてのレゾルバ16からの回転検出信号（モータ回転数Nm）をインターフェイス17を介して入力するようになっている。

【0027】

マイコン7はそのメモリ18に図3に示すマップMを記憶し、アクセルセンサ13により検出されたアクセル開度 α を基にマップMを参照して目標トルクReq_trqを求める。この目標トルクReq_trqが、本実施形態では、SRモータ3を制御するための目標値に相当する。また、マイコン7は、バッテリ電圧検出回路14から検出されたバッテリ電圧値Vbを得るとともに、レゾルバ16からの回転検出信号を基にモータ回転数Nmを得る。またメモリ18には、トルク指示値trq(n)、モータ回転数Nm、バッテリ電圧Vbの3つのパラメータを基に、電流指示値Iと、通電角度（角度指示値）θとを個別に求める2つのマップ（3次元マップ）（図示せず）が記憶されている。トルク指示値trq(n)は、目標トルクReq_trqを目標とする制御を行ううえにおいて実際に指示する指令用の指示値に相当する。トルク指示値trq(n)は、目標トルクReq_trqおよびフィルタ時定数Tを用いて、次式で表される。

$$trq(n) = (T \cdot trq(n-1) + Req_trq) / (T+1) \quad \cdots \quad (1)$$

マイコン7は、3つのパラメータtrq(n), Nm, Vbから決まる電流指示値Iと角度指示値θとからなる指令信号をチョッパ回路8に指令する。チョッパ回路8はマイコン7から入力する指令信号(I, θ)を基に、角度指示値θに応じた所定の励磁タイミングで電流指示値Iを3相コイルに順次通電する指令信号を駆動回路9を介してスイッチング回路10に出力する。

【0028】

図2はインバータ6の回路構成図を示す。

インバータ6は、3相（相1，相2，相3）のモータコイル（3相コイル）31，32，33ごとの3つのスイッチング回路10A，10B，10Cを備えている。スイッチング回路10はこれら3つの回路10A，10B，10Cより構成される。各スイッチング回路10A，10B，10Cにはバッテリ4からのバッテリ電圧が印加されている。各スイッチング回路10A，10B，10Cは、モータコイル31，32，33の両側に2つずつのスイッチング素子（トランジスタ）21，22と、2つずつのダイオード23，24とを備えている。

【0029】

各相における2つのスイッチング素子21，22の各々のゲートには、相1では駆動回路41A，41Bが、相2では駆動回路42A，42Bが、相3では駆動回路43A，43Bがそれぞれ信号電圧を出力可能に接続されている。駆動回路9はこれら2つずつの駆動回路41A，41B，42A，42B，43A，43Bより構成される。また各スイッチング回路10A，10B，10Cと並列に1つずつのコンデンサC1，C2，C3が接続され、またバッテリ4と並列にコンデンサC4，C5，C6が接続されている。

【0030】

3相における各スイッチング素子21，22の各々のゲートには、チョッパ回路8で生成された電流指示値Iに応じたデューティ値（%）のPWM信号が、角度指示値θに応じた励磁タイミングで各相毎のモータコイル31，32，33を順次通電させるタイミングで入力される。このため、各モータコイル31，32，33には、電流指示値Iに応じたモータ電流が角度指示値θに応じた励磁タイミングで通電される。

【0031】

またSRモータ3が惰性回転してモータトルクが零トルクになるときのトルク値T（つまりアクセル開度α）は、その時々のモータ回転数Nmに応じて一義的に決まる。メモリ18には、モータ回転数Nmから零トルク（つまり惰性回転）となるトルク指示値に相当する基準トルク値Toを求めるためのマップ（図示せず）を記憶している。マイコン7は、レゾルバ16からの回転検出信号を基にモータ回転方向を検出しておき、モータ回転方向と同じ向きのトルクを付与すると

きを「力行」、モータ回転方向と逆向きのトルクを付与するときを「回生」と判断する。つまり現在のトルク指示値 $trq(n-1)$ が基準トルク値 T_0 以上のときを「力行」、現在のトルク指示値 $trq(n-1)$ が基準トルク値 T_0 未満のときを「回生」と判断する。

【0032】

「回生」であるときには、レゾルバ16からの回転検出信号を基に得られるモータ回転方向と逆転方向のトルクを発生させる通電タイミングの順序で各相のモータコイル31, 32, 33を通電し、SRモータ3を逆転トルクが発生するように制御する。また「力行」であるときには、レゾルバ16からの回転検出信号を基に得られるモータ回転方向と同一方向のトルクを発生させる通電タイミングの順序で各相のモータコイル31, 32, 33を通電し、SRモータ3を正転トルクが発生するように制御する。この結果、SRモータ3にはトルク指示値 $trq(n)$ に応じたトルクが発生する。この通電タイミング（励磁タイミング）を決めるのが、角度指示値 θ である。

【0033】

図4は、本実施形態で採用する制御内容を示すブロック図である。

SRモータ3のトルク制御はフィードフォワード制御（オープンループ制御）で行われる。但し、SRモータ3の低周波振動（共振振動）を小さく抑えるために振動抑制制御を採用している。振動抑制制御の要点は次のようにある。

【0034】

アクセルペダル12を踏み込んだり離したりしたときのトルク変動により共振周波数域の振動のステップ入力が1つあるとこれがきっかけとなって、その振動のショックが何回か継続する共振現象が起こる。モータ自体の共振、あるいは車体の共振に起因するモータの振動は、モータの回転軸に対し正逆の小刻みな負荷となって加わるためモータの回転むらを招くが、モータ振動を小さく抑制しこの回転むらを抑えることを制御で行うのがモータ振動抑制制御である。共振振動を小さく抑えるためにその共振域の周波数のみをフィルタで取り出してこの成分についてのみ振動を小さく抑制するPD制御を施す。

【0035】

バンドパスフィルタ51は、0. 1～50Hzの共振点付近の周波数成分のみ通すものである。モータ回転数を検出した後、モータ回転数に対してバンドパスフィルタ51を施す。このバンドパスフィルタ51はモータ回転数の定常成分の除去と検出ノイズの除去を目的としている。本実施形態では、SRモータ3の共振周波数が5～7Hzであるので、この帯域は少なくとも通過するようにバンドパスフィルタの通過域を0. 1～50Hzに設定している。バンドパスフィルタ51は、本実施形態ではソフトウェア上で実現したデジタルフィルタを採用する。このバンドパスフィルタ51によって、モータ回転数のうち共振点付近の周波数成分のみを取り込む。バンドパスフィルタ51によりフィルタ手段が構成される。

【0036】

PD演算部52は、バンドパスフィルタ51を通して取り込んだ共振点付近の周波数成分(0. 1～50Hz)の振動レベルの信号値(信号データ)に対し振動抑制効果の高いPD演算処理を施す。つまり0. 1～50Hzの共振点付近の周波数成分のみを取り出してそれを要素として目標トルク(指令値)を補正している。PD演算式(周波数伝達関数)は、式 $K_p + K_d \cdot (1 - 1/z)$ で示される。ここで、 K_p は比例ゲイン(Pゲイン)、 K_d は微分ゲイン(Dゲイン)、 $1/z$ は遅延素子である。

【0037】

バンドパスフィルタ処理後のモータ回転数に対してPD制御を演算してその演算結果であるPD_out(補正量)を目標トルクReq_trqから減算する。このようにしてモータ回転数をフィードバックするループが構成される。このときPD制御の定数(係数)である比例ゲイン K_p 、微分ゲイン K_d はこのフィードバックループの特性がSRモータ3の共振特性を抑制するように設定されている。これらの定数(係数)を決める設計手法(図7)については後述する。なお、 K_p 、 K_d の符号を反転して、PD制御の演算結果を目標トルクに加算しても結果は同様である。

【0038】

マップMPは、目標トルクReq_trqを補正して得た指示トルクTn (=Req_trq

- P D_out) から、上記(1)式を用いて（但し(1)式中「Req_trq」に指示トルク「Tn」の値を使用）決まるトルク指示値trq (n) 、モータ回転数Nm、バッテリ電圧Vbの3つのパラメータを基に、電流指示値Iと角度指示値θとを個別に求める変換をする、前述した2つのマップ（3次元マップ）に相当する。このマップは、3つのパラメータから変換して得た電流指示値Iと角度指示値θをSRモータ3に指令する。そしてSRモータ3のモータ回転数Nmはレゾルバ16により検出されてバンドパスフィルタ51に入力され、振動抑制制御に関するフィードバックループが構築される。

【0039】

図4に示したブロック図の制御はソフトウェア上で実現され、マイコン7のメモリ18には、図6にフローチャートで示すモータ振動抑制制御プログラムが記憶されている。以下、モータ振動抑制制御プログラムについて説明する。

【0040】

ステップ10（以下、ステップを単にSと記す）では、初期化をする。

S20では、前回の制御から10 msec. 経過したか否かを判断する。つまり10 msec. 毎に制御をするため、制御間隔の時間が経過したか否かを判断する。

【0041】

S30では、目標トルクReq_trq を求める。すなわちアクセル開度αを読み込んで、アクセル開度αを基にマップM（図3）を参照して目標トルクReq_trq を求める。

【0042】

S40では、モータ回転数Nm (n) を検出する。なお、Nm (n) はn回目のサンプリングの値を意味し、Nm (n) は今回の検出値、Nm (n-1) は前回の検出値を指す。

【0043】

S50では、バンドパスフィルタ演算処理を実行する。すなわち、次の計算式（2次のフィルタ演算式）を用いて、バンドパスフィルタ出力値BNm (n) を算出する。

$$BNm (n) = a_1 \cdot BNm (n-1) + a_2 \cdot BNm (n-2) + b_1 \cdot Nm$$

$(n) + b_2 \cdot Nm(n-1) + b_3 \cdot Nm(n-2)$

なお、 $BNm(n)$ は n 回目のサンプリングの演算値を意味し、 $BNm(n)$ は今回の出力値、 $BNm(n-1)$ は前回の出力値を指す。

【0044】

S60では、PD制御演算処理を実行する。すなわち、次の計算式を用いてPD制御演算値 PD_{out} を算出する。

$$PD_{out} = K_p \cdot BNm(n) + K_d \cdot (BNm(n) - BNm(n-1))$$

なお、 K_p は比例ゲイン、 K_d は微分ゲインである。

【0045】

S70では、モータへの指示トルク T を算出する。すなわち、指示トルク T_n を、式 $T_n = Req_trq - PD_{out}$ より計算する。

S80では、指示トルク T_n をモータへの電流指示値 I および角度指示値 θ へ変換する。すなわち指示トルク T_n を前記(1)式中の Req_trq に代入してトルク指示値 $trq(n)$ を求め、トルク指示値 $trq(n)$ 、モータ回転数 $Nm(n)$ 、バッテリ電圧 V_b を基に個別のマップ(図4におけるマップMPに相当)を参照して電流指示値 I および角度指示値 θ をそれぞれ求める。

【0046】

S90では、電流指示値 I および角度指示値 θ を出力する。すなわちチョッパ回路8に指令値 I 、 θ を指令する。従って、チョッパ回路8は、角度指示値 θ から決まる通電タイミングで電流 I が流れるデューティ値%で駆動回路9を介してスイッチング回路10をPWM制御する。その結果、モータコイル31、32、33が所定の通電タイミングで順序に励磁される。

【0047】

S100では、電源OFFか否かを判断する。電源ON中はS20に戻りS20～S100の処理を繰り返し実行する。そして電源OFFになると、S110において停止処理を行う。

【0048】

従って、電気自動車1の走行時、アクセル操作の比較的大きな変化がきっかけで車体1aの共振振動等が発生し、この共振振動等がSRモータ3に伝わって、

その振動に起因してモータ回転数に乗ることになった振動成分がバンドパスフィルタ51を通って要素（バンドパスフィルタ出力値BNm(n)）として抽出される。次に抽出された要素BNm(n)を基にPD制御演算が行われてその振動を小さく抑えるような補正值であるPD制御演算値PD_outが求められる。そして目標トルクReq_trqがPD制御演算値PD_outを用いて補正され、補正後の指示トルクTnを基に電流指示値Iおよび角度指示値θが求められ、SRモータ3が制御されるため、SRモータ3に伝わった振動は減衰して小さく抑制されてしまう。例えば図5のグラフに示すように、時刻t1にアクセル開度を大きくする操作をして目標トルクが急増したり、また時刻t2にアクセル開度を小さくする操作をして目標トルクが急減しても、このときそのトルク変動が契機となって車体1aが共振しても、SRモータ3に伝わったその振動は小さく抑制されるため、モータ回転数Nmにはその共振振動に起因する周波数域の振動がほとんど現れない。このため、SRモータ3の回転軸に共振振動等が伝わってもその振動に起因する回転むらが避けられるため、車体1aの前後の小刻みな揺れは起き難くなる。

【0049】

次に上記のモータ制御プログラムでPD制御演算のために用いられる比例(P)ゲインKpと微分(D)ゲインKdを求める設計手法について説明する。本実施形態の振動抑制制御を目的とするモータ制御プログラムの設計方法は、目標トルクからモータ回転数までの共振特性を周波数領域で高次の伝達関数を実データとフィッティングさせることによって導出する。こうして得られた振動モデルに対して安定かつ共振のピークを抑える条件を満たした規範モデルを構築する。そして、PD制御の設計にはモデルマッチング法を採用している。この実施形態でいうモデルマッチング法とは、フィードバック補償にPD制御を入れて閉ループを構築したときに、閉ループの周波数特性が規範モデルと一致または近似できるようにPゲインとDゲインを算出する。以下、この設計手法の詳細を図7のフローチャートに従って説明する。

【0050】

まずS210では、同定実験を行う。つまり、SRモータを車体に搭載して実

際の振動特性を計測する。

S220では、周波数フィッティングによるモデルパラメータ同定を行う。ここでモデルパラメータ同定とは、周波数伝達関数の係数を求ることをいい、この係数を求めることにより振動特性の伝達関数が求まる。

【0051】

S230では、規範モデルを導出する。振動を軽減した理想的なモデルを規範モデルとする。すなわち、同定したモデルが数式モデルで表されているので、数式モデルのどの項が効いて共振特性が得られているのか、数式モデルを解析することで分かるので、その数式モデルを使って共振特性のない規範モデルを解析的に求める。

【0052】

S240では、モデルマッチング法によるPD制御の算出を行う。PD制御を入れたときに規範モデルに一致するようにPゲインとDゲインを決める。

S250では、性能評価条件を満足するか否かを判断する。性能評価条件を満足しないときはS230に戻って規範モデルを作り直し、以下、S230～S250の処理を、S250で性能評価条件を満足すると判断されるまで繰り返す。性能評価条件を満足すれば、S260に移行する。

【0053】

S260においては、コントローラの離散化を行う。すなわち、設計はアナログで連続時間で行うため、マイコン（コントローラ）にデジタルフィルタ（ソフトウェア）として実装するため、アナログ値をデジタル値に変換する離散化を行う。そして、離散化で得られたデータを組み込んだプログラムをマイコンに実装する。

【0054】

以上詳述したように本実施形態によれば、以下の効果が得られる。

(1) モータ回転数からバンドパスフィルタ51を通して車体共振周波数やSRモータ自体の共振周波数など、SRモータ3の外乱となる振動を少なくとも含む所定周波数帯域（共振周波数帯域）のみを取り出し、この所定周波数帯域の振動を基にPD制御演算を施すフィードバック制御をするようにした。よって、S

Rモータ3が車体1aからの共振振動伝達または自身の共振により振動しても、その回転軸はその振動に起因する回転むらを小さく抑えるように制御されるため、車体1aの前後の小刻みな揺れ（前後振動）が起き難くなる。よって、電気自動車1の乗り心地がよくなる。

【0055】

(2) 振動を小さく抑える制御としてPD制御を採用したので、振動を効果的に小さく抑えることができる。このため、電気自動車1の乗り心地が効果的によくなる。

【0056】

(3) バンドパスフィルタ51はデジタルフィルタとしてソフトウェア上で構築しているため、マイコン7のソフトウェア上に振動抑制制御プログラムを追加するだけで済む。制御が簡単であるうえ、設計変更も簡単である。

【0057】

(4) モデルマッチング法による設計手法によって、振動抑制制御のためのPD制御演算で用いる適切なゲイン（PゲインとDゲイン）を得ることができ、設計工数が少なくなる。

【0058】

なお、実施形態は前記に限定されず、例えば次の態様で実施してもよい。

- ・ 2次のフィルタを用いたが、3次以上のフィルタを用いてもよい。
- ・ バンドパスフィルタを用いたが、ハイパスフィルタを用いることもできる

【0059】

・ 振動抑制制御のためにモータ回転数信号から取り出す振動信号の所定周波数は、適宜変更することができる。例えば車種によって異なる車体固有振動数に応じてその振動数（周波数）を含む範囲で適宜変更できる。

【0060】

・ 補正処理はPD制御演算に限定されない。例えばP制御演算またはD制御演算を採用することができる。これらの制御であっても効果は幾分落ちるが振動を小さく抑えることはできる。その他、振動を小さく抑えることが可能な公知の

制御演算を採用できる。

【0061】

- 前記実施形態では、PD制御演算による補正を目標トルクReq_trqに対し行ったが、トルク指示値に対し補正をする構成を採用することもできる。すなわち、目標トルクReq_trqを基に前記(1)式を用いてトルク指示値trq(n)をまず先に求める。そしてバンドパスフィルタ51とPD演算部52を経て得られた補正量PD_outを、トルク指示値trq(n)に対し減算する。マップMPを用いた変換により各指示値I, θを求めるパラメータには、補正後の目標値であるトルク指示値trq(n)(=trq(n)-PD_out)と他のパラメータNm, Vbとを用いる。さらに目標トルクReq_trqそのものをトルク指示値として直接使用してモータ制御を行ってもよい。

【0062】

- ソフトウェア上でデジタルフィルタを構築したが、ハードウェアのデジタルフィルタを設け、バンドパスフィルタとすることもできる。またアナログ回路のバンドパスフィルタを用いることもできる。バンドパスフィルタを通った信号をA/D変換回路を経てデジタル値を得る。そしてそのデジタルデータを基にPD制御演算を行い、フィードバック用の補正值を算出する。この方法によっても振動抑制制御のフィードバック制御を実現できる。

【0063】

- 前記実施形態では、振動抑制制御についてはPD制御演算のフィードバック制御を採用し、モータトルク制御については基本的にオープンループ(フィードフォワード)制御としたが、モータトルク制御についてもフィードバック制御を採用し、例えばモータトルクをトルク指示値に近づけるフィードバック制御を実施することもできる。この場合、振動抑制対象周波数帯域についてはPD制御演算等の振動抑制に有効な補正演算を採用し、2種類のフィードバック制御系を並存させる。

【0064】

- 補正演算(PD制御演算)に使用する係数の決め方は、図7に示す設計手法によることに限定されない。他の設計手法あるいは、経験的に見出した係数を

用いても構わない。

【0065】

- 電動モータはSRモータに限定されない。力行と回生を制御する電動モータであれば足りる。例えば交流誘導モータでもよい。
- 電気自動車の電動モータの振動抑制制御に適用することに限定されない。自動車以外の電気車両で適用してもよい。また、車両において走行駆動源以外の用途で搭載された電動モータについて振動抑制制御を採用してもよい。この場合も、電動モータの振動に起因する回転むらを小さく抑えることができ、電動モータの安定な回転を提供できる。さらに車両以外の他の用途で使用される電動モータにおいて、この振動抑制制御を採用することもできる。この場合も、電動モータの回転むらを小さく抑えることができる。

【0066】

前記実施形態等から把握できる請求項以外の技術的思想を以下に記載する。

- (1) 請求項1～6のいずれか一項において、前記フィルタ手段は、ソフトウェア上で実現されるデジタルフィルタであることを特徴とする。

【0067】

- (2) 請求項2～5のいずれか一項において、前記補正手段による補正演算は、少なくとも比例制御を含むことを特徴とする。

- (3) 請求項2～5のいずれか一項において、前記補正手段による補正演算は、少なくとも微分制御を含むことを特徴とする。

【0068】

- (4) 請求項4～6のいずれか一項において、前記制御手段は、アクセル操作手段(12)の操作量を検出するアクセル開度検出手段(13)の検出結果に応じて決まる目標値になるように前記電動モータをトルク制御する。

【0069】

- (5) 請求項1～請求項6、前記技術的思想(1)～(4)のいずれか一つにおいて、前記制御手段は前記電動モータを基本的にオープンループでトルク制御する。つまりフィードバックはあくまで振動抑制制御目的で行うのみで、モータ回転数の周波数信号については必ずしも常にモータのトルク制御の対象とはされ

ない。

【0070】

【発明の効果】

以上詳述したように請求項1～6に記載の発明によれば、電動モータの振動に起因する回転むらを小さく抑えることができる。例えば電動モータを走行駆動源とする車両では、車両走行時に車体振動などにより電動モータが振動しても、その回転むらが小さく抑えられるため、車体の前後の小刻みな揺れ（前後振動）を起き難くすることができる。

【0071】

請求項7及び8に記載の発明によれば、振動抑制制御のための設計を適切に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 一実施形態における電気自動車の概略構成図。

【図2】 インバータの電気回路図。

【図3】 アクセル開度から目標トルクを得るためのマップ。

【図4】 振動抑制制御の制御内容を示すブロック図。

【図5】 トルク変化時のモータ振動抑制効果を説明するためのグラフ。

【図6】 モータ振動抑制制御ルーチンのフローチャート。

【図7】 設計手法の手順を示すフローチャート。

【図8】 従来のモータ制御内容を示すブロック図。

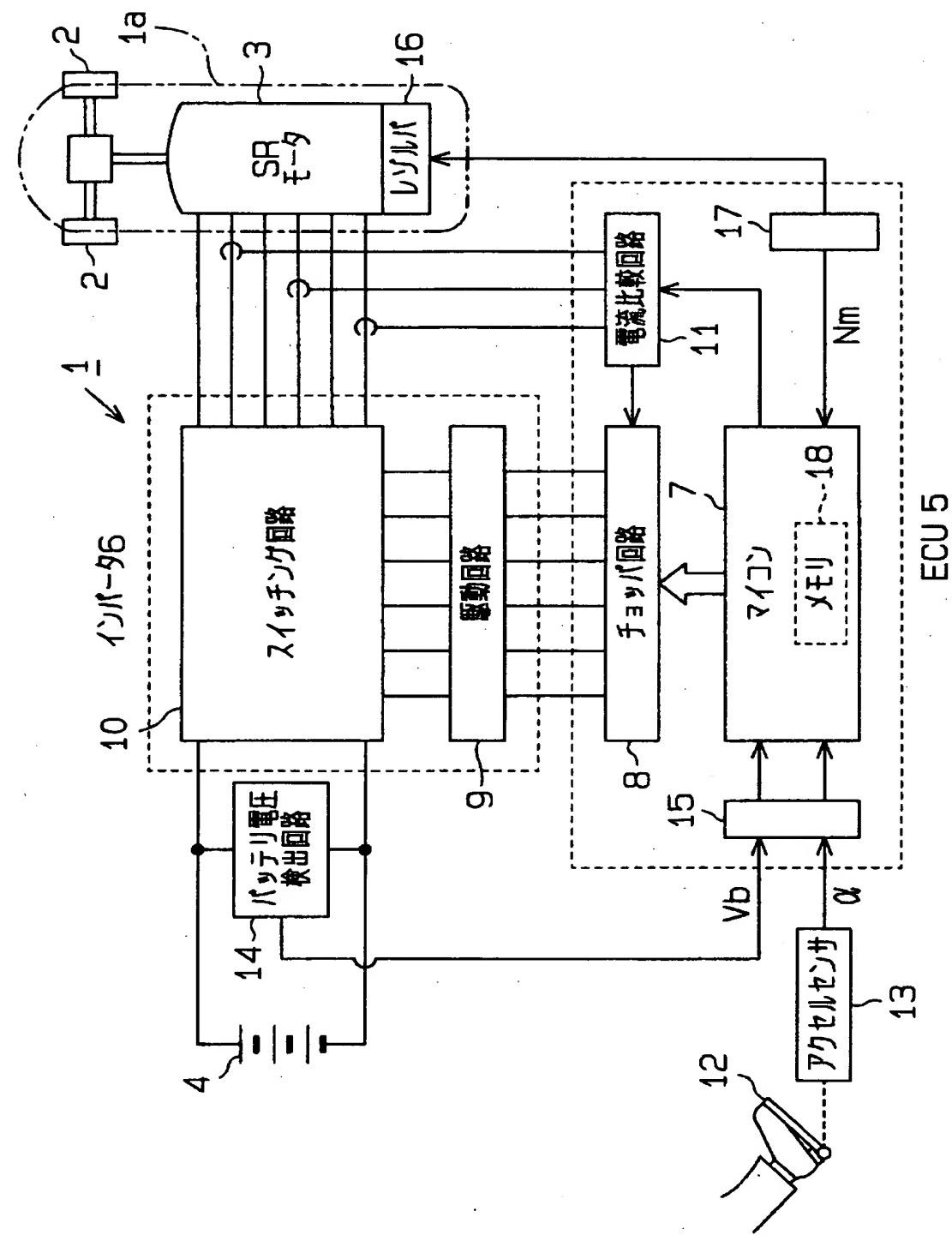
【図9】 トルク変化時のモータ振動発生を説明するためのグラフ。

【符号の説明】

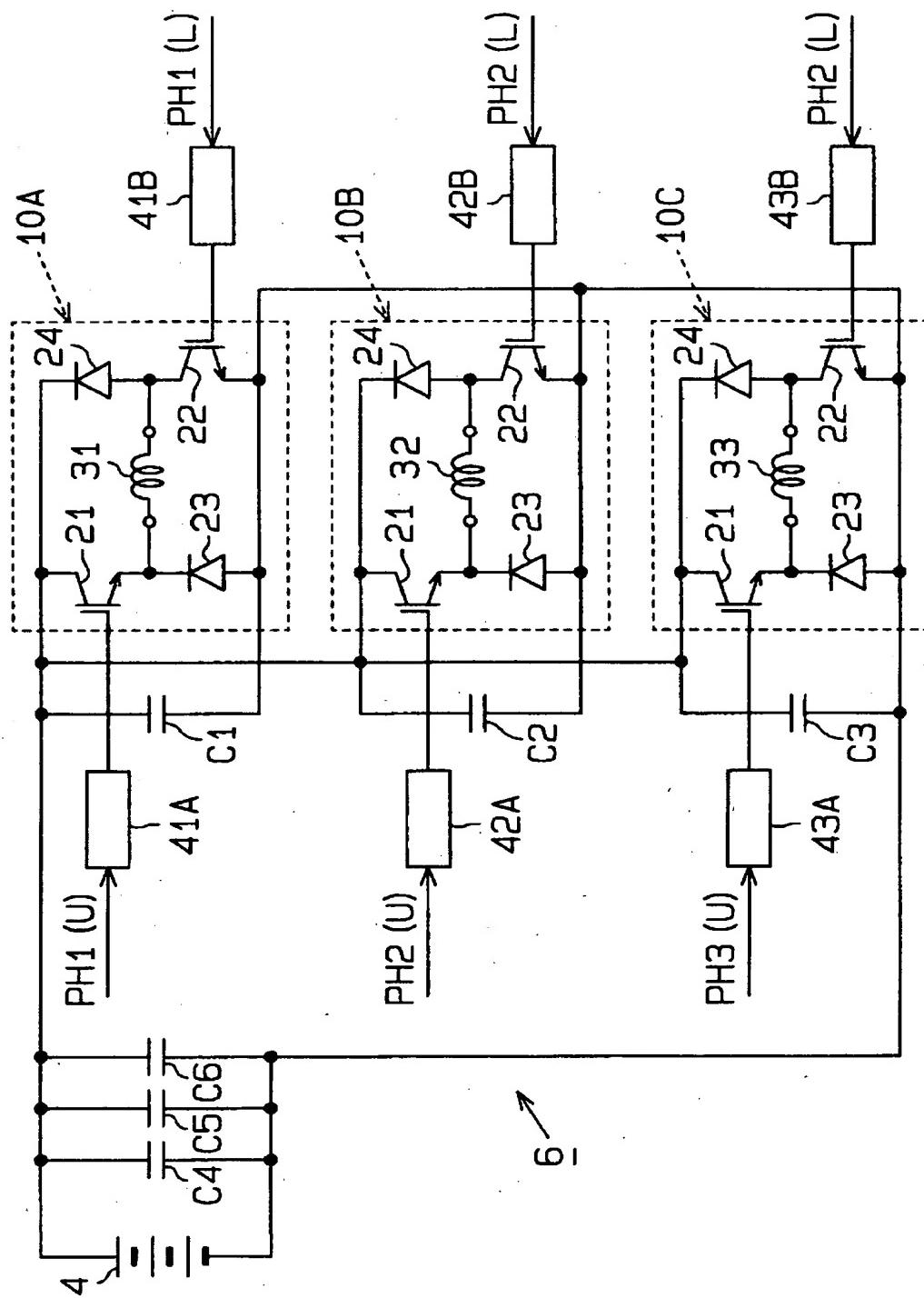
1…車両としての電気自動車、1a…被組付体としての車体、3…電動モータ及び走行駆動源としてのSRモータ、5…ECU、6…インバータ、7…フィルタ手段、補正手段、制御手段としてのマイコン、13…アクセルセンサ、16…検出手段としてのレゾルバ、18…メモリ、51…フィルタ手段としてのバンドパスフィルタ、52…PD演算部。

【書類名】 図面

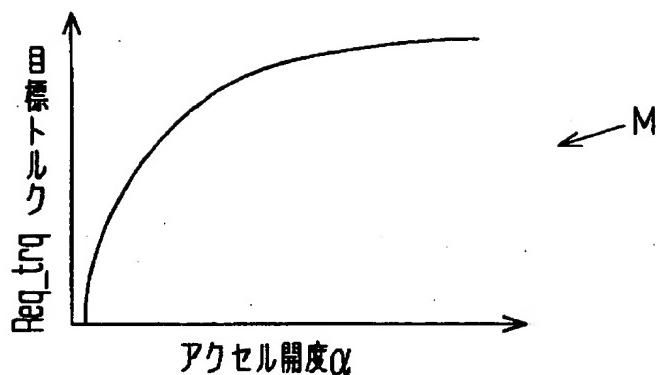
【図1】



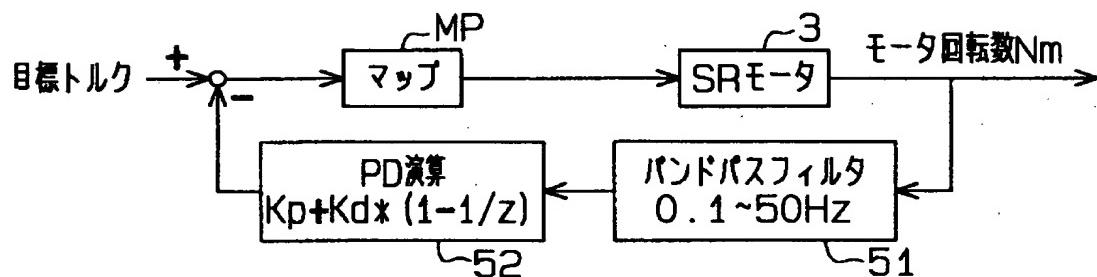
【図2】



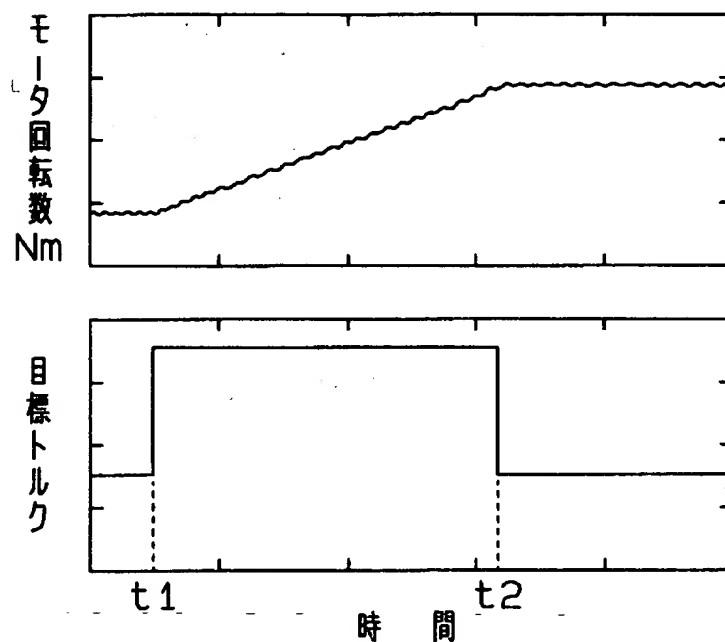
【図3】



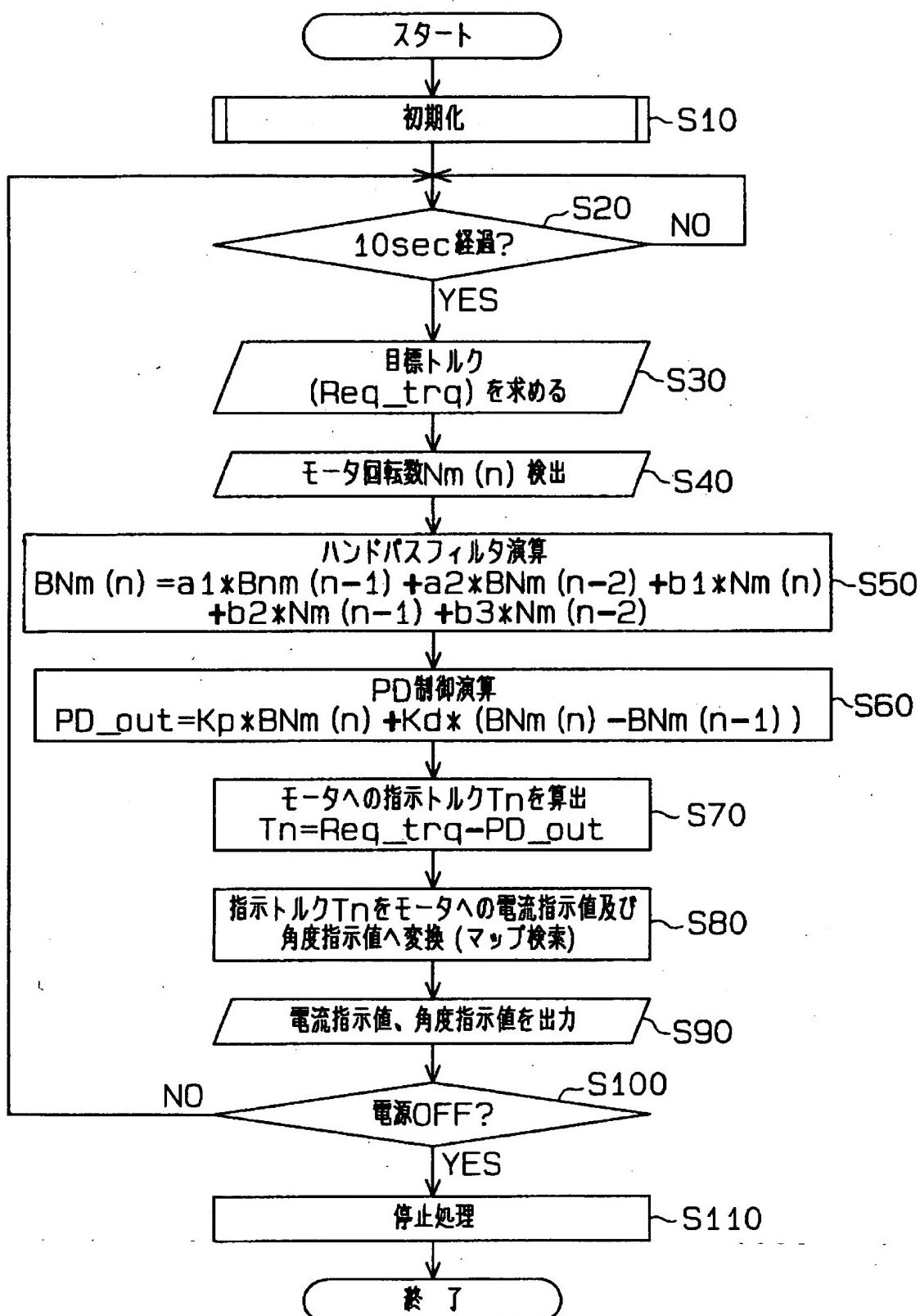
【図4】



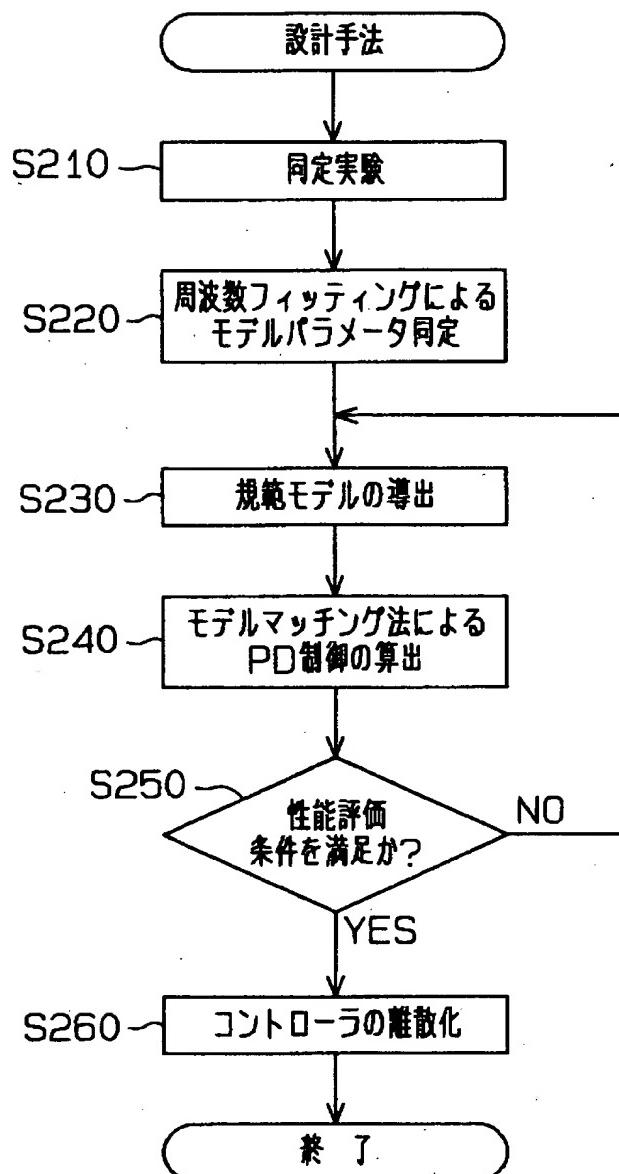
【図5】



【図6】



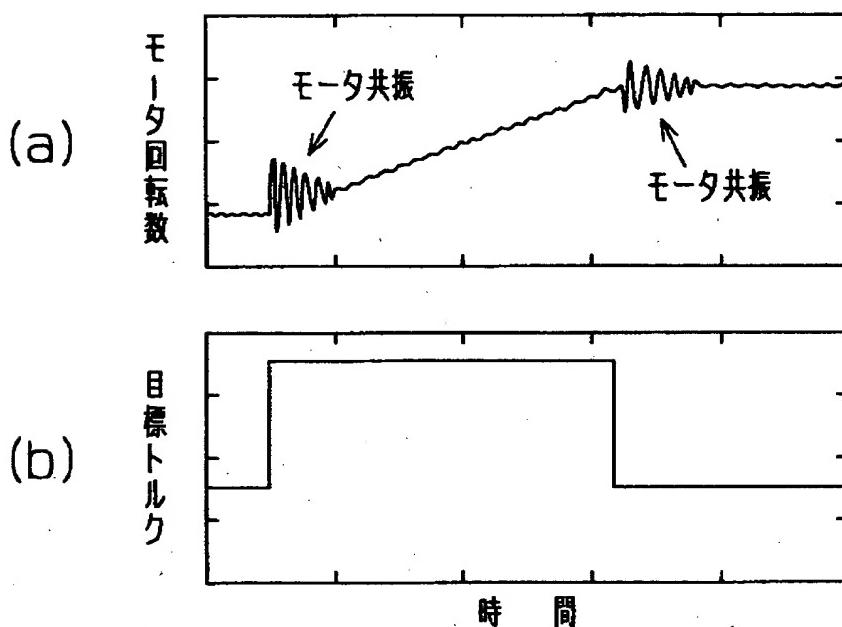
【図7】



【図8】



【図9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電動モータの振動を簡単な制御方法で抑制でき、しかも異なる車種間にも比較的簡単に展開可能なモータの振動抑制制御を実現できる電動モータの振動抑制制御装置を提供する。

【解決手段】 電気自動車の走行駆動源としての電動モータ（SRモータ）3は、マイコンにより制御される。マイコンはアクセル開度に応じた目標トルクを求め、目標トルク（モータ回転数Nmとバッテリ電圧も考慮）を基にマップMPを参照して得られた指令値（電流指示値I，角度指示値θ）を指令し、SRモータ3のトルク制御を行う。SRモータ3から検出したモータ回転数Nmの信号データをバンドパスフィルタ51を通す。バンドパスフィルタ51を通すことにより出された0.1~50Hzの信号データに対しPD演算処理がなされ、その算出された補正量が目標トルクに減算される制御が行われる。

【選択図】 図4

出願人履歴情報

識別番号 [000000011]

1. 変更年月日 1990年 8月 8日

[変更理由] 新規登録

住 所 愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地

氏 名 アイシン精機株式会社